

Magyar Földrajzi Társaság
Societas Geographica Hungarica
1872



FÖLDRAJZI KÖZLEMÉNYEK



GEOGRAPHICAL
REVIEW

141. évfolyam, 1. szám
2017

FÖLDRAJZI KÖZLEMÉNYEK

A Magyar Földrajzi Társaság tudományos folyóirata

Geographical Review • Geographische Mitteilungen

Bulletin Géographique • Bollettino Geografico • Географические Сообщения

Főszerkesztő
MARI LÁSZLÓ

Szerkesztők
EGEDY TAMÁS (felelős szerkesztő), BOTTLIK ZSOLT,
HORVÁTH GERGELY, PAPP SÁNDOR

Szerkesztőbizottság
FÁBIÁN SZABOLCS, GYÖRI RÓBERT, ILLÉS SÁNDOR,
STEVEN JOBBITT, KOZMA GÁBOR,
LÓCZY DÉNES, MUCSI LÁSZLÓ, SZABÓ GYÖRGY, TIMÁR JUDIT

Tudományos Tanácsadó Testület
BELUSZKY PÁL, FRISNYÁK SÁNDOR, KERÉNYI ATTILA,
KOCSIS KÁROLY, KOVÁCS ZOLTÁN,
MEZŐSI GÁBOR, PROBÁLD FERENC, VARAJTI KÁROLY

Szerkesztőség: 1112 Budapest, Budaörsi út 45. Telefon, fax: (06-1) 309-2683
E-mail: kozlemenyek@foldrajzitasasag.hu. Honlap: www.foldrajzitasasag.hu
Az EBSCO által indexált és az MTA X. Földtudományok Osztályán kiemelt státuszba
sorolt folyóirat.

TARTALOM / CONTENTS

Tematikus értekezések / Thematic studies

FARSANG ANDREA–BARTUS MÁTÉ–BARTA KÁROLY–SZATMÁRI JÓZSEF: Szerkezetes talajok deflációérzékenységeinek és talajtani tulajdonságainak összefüggései: terepi szélcsatorna kísérletek eredményei dél-alföldi csernozjom talajokon / Connection between wind erosion vulnerability and soil properties of aggregated soils: results of portable wind tunnel experiments on chernozems of the southern parts of the Great Hungarian Plain	1
KOVÁCS FERENC–VAN LEEUWEN BOUDEWIJN–LADÁNYI ZSUZSANNA–RAKONCZAI JÁNOS–GULÁCSI ANDRÁS: Regionális léptékű aszálymonitoringot támogató vegetáció- és talajnedvesség értékelés MODIS adatok alapján / Vegetation and soil moisture assessments based on MODIS data to support regional drought monitoring	14
SZILASSI PÉTER–TOBAK ZALÁN–VAN LEEUWEN BOUDEWIJN–SZATMÁRI JÓZSEF–KITKA DOROTTYA: A szárazodással kapcsolatos földrajzi tényezők és egy özönnövény terjedése közti kapcsolat vizsgálata a Dél-Alföldi Régió területén / Investigation of the drought related geographical background of an invasive plant species spreading in south Hungary	30
NAGY JUDIT–FIALA KÁROLY–BLANKA VIKTÓRIA–SÍPOS GYÖRGY–KISS TÍMEA: Hullámtéri feltöltődés mértéke és árvizek közötti kapcsolat az Alsó-Tiszán / Connection between floodplain aggradation and floods on the lower Tisza, Hungary	44
MEZŐSI GÁBOR–BATA TEODÓRA–BLANKA VIKTÓRIA–LADÁNYI ZSUZSANNA: A klímaváltozás hatása a környezeti veszélyekre az Alföldön / Potential impacts of climate change on environmental hazards in the Great Hungarian Plain	60
LISKA CSILLA MARIANN–MUCSI LÁSZLÓ–HENITS LÁSZLÓ: Hosszútávú felszínborítás-változások vizsgálata Csongrád megyében idősoros adatok felhasználásával, random forest módszerrel / Estimation of long-term land cover changes in csongrad county using time series data and random forest classifier	71

HOSSZÚTÁVÚ FELSZÍNBORÍTÁS-VÁLTOZÁSOK VIZSGÁLATA CSONGRÁD MEGYÉBEN IDŐSOROS ADATOK FELHASZNÁLÁSÁVAL, RANDOM FOREST MÓDSZERREL

LISKA CSILLA MARIANN – MUCSI LÁSZLÓ – HENITS LÁSZLÓ

ESTIMATION OF LONG-TERM LAND COVER CHANGES IN CSONGRAD COUNTY
USING TIME SERIES DATA AND RANDOM FOREST CLASSIFIER

Abstract

Mapping urban expansion and impervious surface change are more and more important in geographical research. Increasing impervious surface area has a negative impact on population health and environmental conditions. Freely available Landsat images make it possible to produce land-cover maps at regional or country level from 1984 to 2016 and derive changes between two or more dates. In this study, we used a random forest method to map impervious surfaces and their change between 1986 to 2015 for Csongrád county, Hungary. Ten Landsat images acquired in 1986 and fourteen images acquired in 2015 were used for the classification procedure. The overall accuracy of classification for 1986 and 2015 were, respectively 90.9 and 91.6%. Change information was derived using post-classification comparison between 1986 and 2015. We successfully mapped typical land-cover changes related to impervious surfaces like highways, as well as commercial and industrial building constructions.

Keywords: Landsat, land-cover, change detection, random forest, time series

Bevezetés

A Föld lakosságának több mint a fele városokban él, Magyarországon ez a szám 2016-ban már 70% fölötti (UN 2014). A városok a földfelszín kevesebb, mint 10%-át borítják, mégis rendkívül intenzív a területükön a környezet terhelése. A településen belüli térbeli folyamatok egyik legfontosabb mutatója a felszínborítás és a városi területhasználat mértéke és annak változása. A felszínborítás változása dinamikus, de nem egyenletes, hiszen természeti, társadalmi és gazdasági folyamatok akár térben és időben eltérő módon befolyásolják a beépítettség változását. Az antropogén hatás miatt napjainkra a felszínborítás elvesztette korábbi jellegét, csak a mintázat alapegységein, a kistájakon, tájfoltokon belül tekinthető folytonosnak egyes tájalkotó tényezőknek a térbeli változékonysága. A diszkrét határokkal rendelkező foltok térbeli paramétereit (pl. terület, kerület, alaki indexek stb.) a tájmetriai elemzések (MEZŐSI G. – FEJES T. 2004) során vizsgálják a kutatók, hiszen ezek a táj állapotának, ökológiai stabilitásának indikátorai.

A mesterséges felületek nem csak a települések belterületén jelentek meg. Az út- és vasúthálózat biztosítja a települések közötti szárazföldi kapcsolatot, zöldmezős beruházások révén jelentős területeket borítanak víz át nem eresztő anyagok. A hálózati és lokális létesítmények tovább szabdalják a tájat (BATA T. – MEZŐSI G. 2013).

A felszínt borító mesterséges felületek rendkívül nagy változatossággal jelennek meg, bár egyik alapvető funkciójuk, a felületükre érkező csapadékvizek elvezetése közös. Kis területen belül, egymás mellett is nagyon eltérő anyagokat használnak a felszín fedésére, emiatt térképezésük is összetett adatgyűjtési és feldolgozási módszereken alapulhat. A mesterséges felszínek környezeti hatásait a városökológiai vizsgálatok részletesen elemezték már (MUCCI L. et al. 2007), de a felszínborítás folyamatos térképezése csak a nagy térbeli felbontású távérzékeléses szenzorok megjelenésével vált lehetségessé (ZHU, Z. – WOODCOCK,

C. E. 2014). A határokkal rendelkező, diszkrét, foltszerű felszínfedés térben folytonos, bolygatás nélküli mérésére egyedül ezek a módszerek alkalmasak. A pásztázó képpalkotó rendszerek a felszín adott területegysége által visszavert vagy kisugárzott energiát egy vagy több sávban detektálják. A felszínborító anyagok térbeli kiterjedése megadja a reflektancia térbeli léptékét (spatial scale of reflectance) és ennek ismeretében lehet a megfelelő térbeli felbontású szenzort kiválasztani a vizsgálathoz (SMALL, C. 2003). Amennyiben a térbeli felbontás nagyobb, mint a reflektancia térbeli léptéke, úgy sok homogén képelem jön létre és a mérési eredmények alapján ezek a felszínborító anyagok azonosíthatók (STRAHLER, A. H. et al. 1986). Ekkor is keletkeznek azonban ún. spektrálisan vegyes képelemek, melyek olyan területeket reprezentálnak, melyeken több, eltérő reflektanciájú anyagot találunk. A spektrálisan vegyes képelemeken belüli felszínborítási arányok meghatározására a spektrális szétválasztás (spectral unmixing) különböző módszereit (SMA – SMALL, C. 2001; NSMA – WU, C. 2004) fejlesztették ki az elmúlt években a hagyományos, pixelalapú osztályozási módszerek (pl. Minimum Distance, Maximum likelihood) hiányosságait kiküszöbölendő.

A spektrálisan vegyes képelemek megjelenése mellett a felszínborítás szezonális változásai is nehezítik a képfeldolgozás folyamatát. A mesterséges felületek kiterjedését viszonylag könnyen meghatározhatjuk olyan időszakokban, amikor nincs levél a növényeken, viszont nyáron a városi fák lomboronája kitakarja az alattuk lévő mesterséges felületeket. Számos módszer használ több, különböző időpontban készült felvételt a mesterséges felszín és a nyílt talajfelszín elkülönítéséhez (YUAN, F. et al. 2005; HENITS L. et al. 2016). Emiatt adatfúziót (több különböző típusú adat integrálása) vagy idősoros (éven belüli) adatokra épülő adatbázis építését érdemes elvégezni. Több kutató is sikeresen igazolta az idősoros vizsgálatok jelentőségét a városok növekedésének vizsgálatában és a mesterséges felszín térképezésében (SCHNEIDER, A. 2012; ZHANG, L. – WENG, Q. 2016).

A hagyományos, közepes felbontású optikai rendszerekkel (pl. Landsat, SPOT) nagy területek (országos) felhőmentes lefedése viszonylag ritkán biztosított, de ezen rendszerek több évtizedes működése alatt szerencsére akadtak olyan évek, amelyekben ilyen felvételsorozatok készültek. A közepes felbontású műholdfelvételek idősoros adatainak feldolgozása robosztus módszereket igényel, melyek csak nagy számítási kapacitású gépeken, erre a célra kifejlesztett szoftverekkel valósíthatók meg.

Kutatásunk során a felszínborítás változását, különös tekintettel a mesterséges felületekre, kívántuk vizsgálni éven belüli, közepes felbontású Landsat űrfelvételek sávonkénti képei, és ezekből levezetett derivátumok (NDVI, Tasseled Cap) alapján robosztus képfeldolgozási módszerekkel.

Felhasznált adatok

A kutatás során Landsat-5, Landsat-7 és Landsat-8 felvételeket használtunk, amelyek az Amerikai Egyesült Államok Geológiai Szolgálatának (USGS) adatbázisából ingyenesen letölthetők (<http://glovis.usgs.gov>). A felhasznált felvételek kora tavasztól késő őszig terjedő időszakban készültek, ezekben az időpontokban a vegetáció a fenológiai változása alapján jól elkülöníthető a mesterséges felszínektől. A képek kiválasztása során irányadó volt, hogy a felhőborítottság mértéke alacsonyabb legyen 50%-nál.

A követelményeknek az 1986-os évben 10 db Landsat-5 TM felvétel, míg a 2015-ös évben 8 db Landsat-8 OLI és 6 db Landsat-7 ETM+ felvétel felelt meg (1. táblázat). Az SLC hiba miatt adathiányos Landsat 7-es képeket is felhasználtuk a vizsgálathoz, mivel felhőmentes felvétel esetén a pixelek 78%-ára radiometriailag és geometriailag pontos adat

áll rendelkezésre (http://landsat.usgs.gov/products_slc-off-background.php). A Landsat-5 és a Landsat-7 felvételek esetén két kép mozaikolásával készült el a Csongrád megyei fedés, a 187/027 (sor/oszlop) és a 187/028 (sor/oszlop) csempék felhasználásával. A műholdképek Universal Transverse Mercator (UTM WGS84 N34) vetületben érhetők el. Az intenzitásértékből modellezett felszíni reflektanciaértékeket és az automatikusan generált NDVI értékeket az Earth Resource Observation and Science (EROS) Center Processing Architecture (ESPA) (<http://espa.cr.usgs.gov>) rendszerében rendeltük meg és töltöttük le.

1. táblázat – Table 1

A felhasznált Landsat űrfelvételek és azokból levezetett mutatók
Overview of the Landsat images and the derivations used in this study

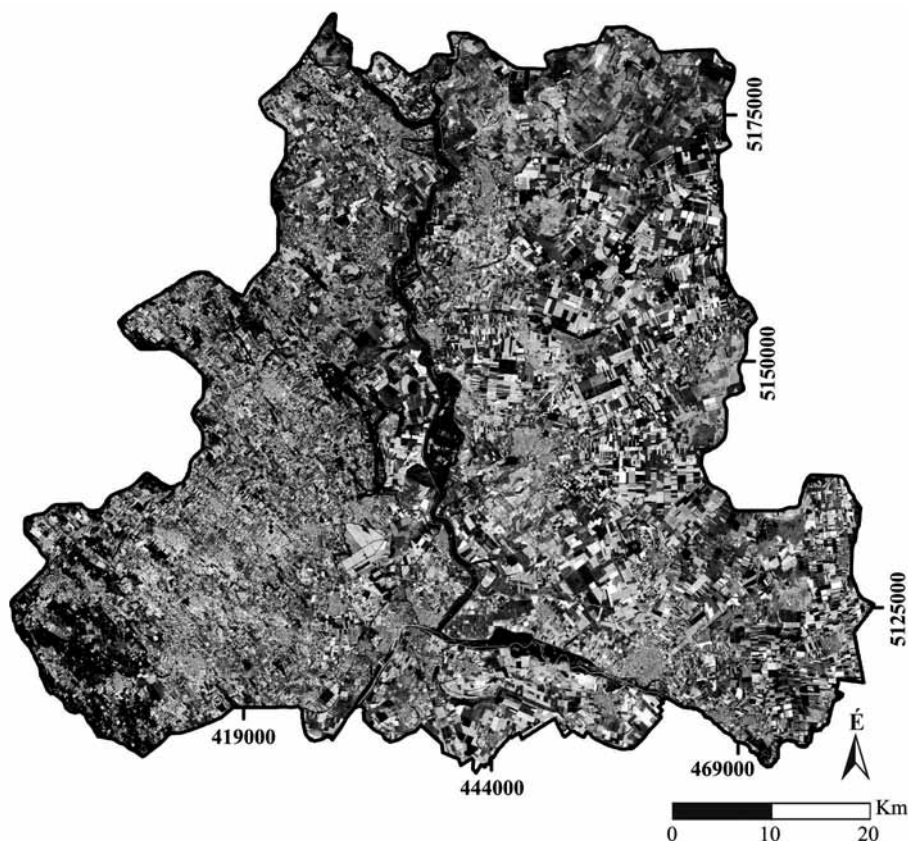
Év	Felvételezés ideje	Szenzor	Felhasznált sávok	Adat-hiányok
1986	1986.04.16	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
1986	1986.05.02	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
1986	1986.06.03	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
1986	1986.06.19	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
1986	1986.07.05	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
1986	1986.08.06	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
1986	1986.08.22	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
1986	1986.09.07	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
1986	1986.09.23	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
1986	1986.10.25	TM	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
2015	2015.03.07	ETM+	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	SLC-off
2015	2015.04.16	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
2015	2015.05.18	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
2015	2015.06.03	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
2015	2015.06.11	ETM+	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	SLC-off
2015	2015.07.05	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
2015	2015.07.21	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
2015	2015.07.29	ETM+	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	SLC-off
2015	2015.08.06	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
2015	2015.08.14	ETM+	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	SLC-off
2015	2015.08.30	ETM+	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	SLC-off
2015	2015.09.07	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	felhős
2015	2015.09.23	OLI	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	–
2015	2015.10.01	ETM+	Felszíni reflektancia (6 sáv), NDVI (1), TassaledCap (3)	SLC-off

A pontosságbecsléshez az 1990-es és a 2012-es CORINE felszínborítás adatbázisokat használtuk. A CORINE program célja, hogy az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) országainak területére 1 : 100 000-es méretarányban összehasonlítható, konzisztens felszínborítási információ álljon elő (MARI L.–MATTYÁNYI ZS. 2002). Háromszintű nomenklatúrája 5 kategóriát különít el (mesterséges felszínnek, mezőgazdasági területek,

erdők és természetközeli területek, vizenyős területek és vízfelületek), amelyekben összesen 44 felszínborítási osztályt határoz meg (BÜTTNER G. et al. 2004).

A vizsgált terület

Csongrád megye Magyarország délkeleti részén, a Dél-Alföldi régióban található. Közigazgatási területe $4262,7 \text{ km}^2$, a lakossága 417456 fő (KSH, 2011) (1. ábra). A megyében viszonylag kevés település található, 60 településéből 10 város, amelyben a lakosság 75%-a lakik (KSH, 2013). A 2012-es CORINE felszínborítási adatbázis alapján a terület 4,9%-a mesterséges felszín, 80,8%-a mezőgazdasági terület, 12,1%-a erdő és természetközeli terület, 0,5%-a vizenyős terület és 1,7%-a vízfelület.



1. ábra Csongrád megye kivágata egy Landsat űrfelvételen

Figure 1 The subset of Csongrád county in a Landsat image

Csongrád megye tájszerkezetét három középtáj határozza meg: a Duna-Tisza közti síkvidék, az Alsó-Tiszavidék és a Körös-Maros köze. A tájalkotó tényezők eltérő komplex táji feltételrendszert biztosítanak a mezőgazdálkodásnak, a vízgazdálkodásnak, a természetvédelemnek és a településrendszer alakulásának.

A 2006-os CORINE adatok alapján Csongrád megyében 300-350 ezer ha terület állt művelés alatt, melynek 79%-át teszik ki a szántóföldek. A Körös-Maros közti tanyás tájon a növénytermesztés az uralkodó (94%) köszönhetően a kiváló termékenyséű csernozjomoknak. Az összefüggő szántókat alig-alig szakítják meg szőlőterületek és gyümölcsösök. A megye tisztántúli részén a rendszerváltás után, a szövetkezetek és az állami gazdaságok felbomlása után, a kárpótlási folyamatban jelentősen felaprózódtak a birtoktestek, de a művelési mód nem változott jelentős mértékben.

Az ártéri természetközeli tájra a védelemmel összefüggő területhasználatok magas aránya a jellemző (erdők, természetközeli területek – 43%, vízfelületek – 13%) és alacsony a beépített területek aránya, mely nem éri el az 1000 ha-t. Ehhez hasonló az elszórtan elhelyezkedő pusztai természetközeli táj szerkezete, azzal a különbséggel, hogy itt a vízfelületeket a megye legnagyobb tavai alkotják (Sándorfalvi-halastavak, Csaj-tó), és az ártérihez képest fele akkora a beépített területeken belül a sport és szabadidő terület részaránya.

A legváltozatosabb képet a Homokhátsági tanyás táj mutatja, mert bár a szántóknak van túlsúlya, de a mozaikosságot, változatosságot a komplex művelési szerkezetű területek alkotják. A Homokhátságban találhatók a megye nagyobb, összefüggő gyümölcsösei és szőlőtermő területei is (Csongrád megye területfejlesztési koncepciója, 2012).

Módszerek

A tanulmányban az 1986-os és 2015-ös évekre függetlenül állítottunk elő felszínborítás térképeket. Az adott évből rendelkezésre álló Landsat űrfelvételek (felhőborítottság < 50%) spektrális sávjait (6 sáv), és az ezekből levezetett NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) értékeket és Tasseled Cap komponenseket használtuk fel az osztályozáshoz. Az NDVI az egyik leggyakrabban használt vegetációs index a távérzékeléses vizsgálatokban (JENSEN, J. R. 2005), amely az alábbi képlet segítségével adható meg:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$$

ahol ρ_{NIR} a pixel reflektancia értéke a közeli infravörös sávban, és ρ_{Red} a pixel reflektancia értéke a vörös sávban. A pixelek -1 és $+1$ közötti értéket vesznek fel, a magasabb értékek dúsabb, egészségesebb vegetációt jelölnek. A Tasseled Cap egy transzformációs eljárás, amely három vegetációval kapcsolatos adatstruktúra tengelyt határoz meg. A fényességi index (brightness) a talaj reflektancia változását, a zöld index (greenness) a zöldfelületek jelenlétét, a nedvességi index (wetness) pedig a lombkorona és talaj nedvességtartalmát mutatja (KAUTH, R. J.–THOMAS, G. S. 1976).

Az űrfelvételen található felhőket és a felhőárnyékokat az ESPA által szolgáltatott CFmask algoritmus segítségével maszkoltuk (ZHU, Z.–WOODCOCK, C. E. 2012). Kilenc felszínborítási kategóriát térképeztünk (mesterséges felszínek, szántóföldek, gyepek, lombhullató-, tűlevelű erdők, vízenyős területek, vízfelületek és talajok), és ezekhez az űrfelvételekről gyűjtöttünk tanulóterületeket. Olyan mintákat választottunk, amelyekre mindkét évben ugyanaz a felszínborítási típus volt jellemző. A területeket nagyfelbontású ortofotók és Google Earth felvételek segítségével jelöltük ki.

Az adott évből rendelkezésre álló Landsat űrfelvételek spektrális sávjait, az NDVI képeket és az első három Tasseled Cap sávot (Brightness, Greenness, Wetness) fűztük össze egy többsávós képpé. Az így létrejövő idősoros adatot használtuk fel bemenő adatként az osztályozáshoz. A tanulmányban a véletlen erdő (random forest) osztályozási módszert alkalmaztunk, mivel hatékonyan képes kezelni a nagy dimenzionalitású és multikollineáris

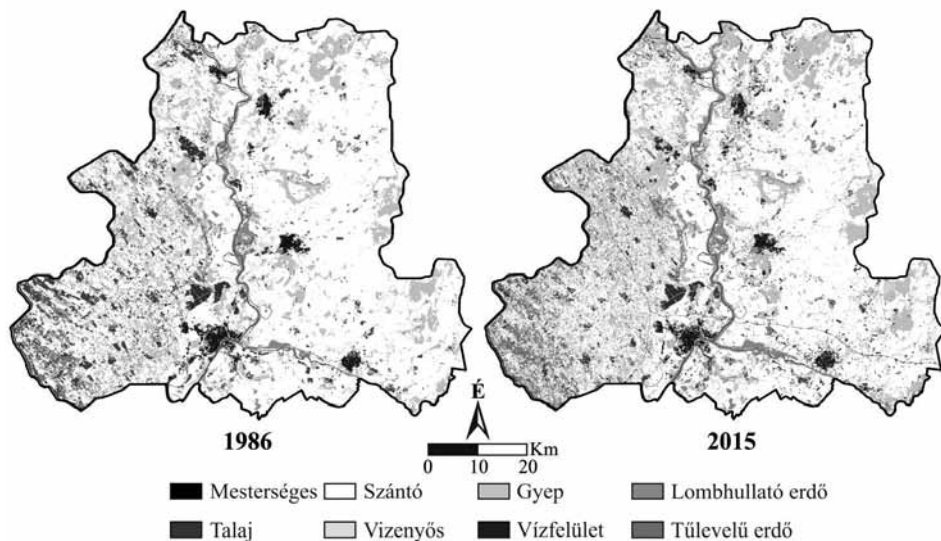
adatokat, valamint kevésbé érzékeny a tanulóterületek minőségére (BELGIU, M. – DRAGUT, L. 2016). A felszínborítás osztályozásában egyre nagyobb szerepet kapnak a különböző forrásból származó és különböző típusú földrajzi adatok felhasználásai. Azonban ezeket az együttes adatokat nem képesek kezelni a hagyományos parametrikus osztályozási módszerek (GISLASON, P. O. et al. 2006). A felszínborítási osztályok pontos elkülönítéséhez nem elegendő egyedi úrfelvételeket használni, ezért olyan módszert kellett választanunk, amely robosztus módon képes kezelni a különböző forrásból származó többsávos képeket és azok derivátumait. A véletlen erdő egy együttes osztályozó, amely döntési fák halmazát használja. A döntési fa hierarchikus osztályozási módszer, amely az adatokat rekurzív módszerrel homogénebb részhalmazokra bontja szét, és sorolja az elemeket valamelyik osztályba (JIANG, L. et al. 2010). Két paramétert kell megadni a véletlen erdő osztályozáshoz: (1) a létrehozandó fák számát (N) és a választott attribútumok számát (M), amelyeket az egyes csomópontok kialakításához használ. Az N db létrehozott döntési fa mindegyike lead egy szavazatot, és végeredménynek a leggyakoribbat fogjuk kapni. (BREIMAN, L. 2001). A tanulmányban az 1986-os év esetén 500 fát és 7 attribútumot választottunk, a 2015-ös év képeire pedig 500 fát és 8 attribútumot.

Eredmények

A felszínborítási térképek

Az osztályozás eredményeként az 1986-os és a 2015-ös évre egy-egy 8 osztályt tartalmazó tematikus réteget kaptunk. A kisméretű, elszórt foltokat utófeldolgozási műveletek segítségével távolítottuk el, eredményeként a településeken a minimum térképezési egység 0,25 ha, a külterületeken 1 ha lett. A véletlen erdő osztályozás eredményeit a 2. ábra szemlélteti.

A felszínborítási térképek pontosságvizsgálatát az 1990-es és 2012-es CORINE adatok alapján végeztük el. Mivel nomenklatúrájukban részletesebbek és vegyesen tartalmaznak



2. ábra A felszínborítási térképek az 1986-os és 2015-ös évekre

Figure 2 Land-cover maps for 1986 and 2015

felszínborítás és területhasználat kategóriákat, ezért az osztályokat az eredménytérképünknek megfelelően kellett átkódolnunk, valamint a vegyes kategóriákat új osztályként kellett kezelnünk (CLC242, 243 és 313). Az ellenőrzéshez 300 pontot és kiegyenlített random módszert használtunk. Minden egyes osztályba minimum 25 pontot helyeztünk el a validációhoz. A pontosságvizsgálat eredményét hibamátrixban jelenítettük meg, amely megfelelően jellemzi a térkép pontosságát, mivel meghatározza az egyes osztályok hozzávetett (commission) és kihagyott (omission) hibáit (CONGALTON, R. G. 1991). A mátrixok segítségével meghatároztuk a tematikus rétegeink teljes pontosságát, valamint a felhasználói (user's accuracy) és az előállítói (producer's accuracy) pontosságot.

2. táblázat – Table 2

Az 1986-os felszínborítás térkép hibamátrixa 1-mesterséges felszín, 2-szántó, 3-gyep, 4-lombhullató erdő, 5-tülevelű erdő, 6-vizenyős, 7-vízfelületek
Error matrix for the 1986 classification. 1-artificial surfaces, 2-arable land, 3-grassland, 4-deciduous forest, 5-coniferous forest, 6-wetland, 7-water

Osztály/ Referencia	1	2	3	4	5	6	7	Osztály össze- sen	Felhasz- nálói pon- tosság
1	22	1	0	1	1	0	0	25	88,0%
2	2	113	5	1	1	0	0	122	92,6%
3	0	5	40	0	0	0	0	45	88,9%
4	0	0	1	30	0	0	0	31	96,8%
5	0	0	0	0	23	0	0	23	100,0%
6	1	4	2	1	0	16	1	25	64,0%
7	0	0	0	0	0	0	27	27	100,0%
Referencia összesen	25	123	48	33	25	16	28	298	Teljes pon- tosság
Előállítói pontosság	88,0%	91,9%	83,3%	90,9%	92,0%	100,0%	96,4%		90,9%

A teljes pontosság értéke az 1986-os időpontra 90,9%, a 2015-re 91,6% lett (2. táblázat, 3. táblázat). A vizsgálat szempontjából fontos mesterséges felszínek mindkét évre 80% feletti pontossággal rendelkeznek. Általánosságban megállapítható, hogy a szántóföldek, a lombos és tülevelű erdők valamint a vízfelületek magas, 85%-ot meghaladó felhasználói és előállítói pontossággal rendelkeznek. A szántóföldek és a gyepek közötti keveredés miatt 1986-ban a gyepek előállítói pontossága 83,3%, míg 2015-ben a felhasználói pontosságuk 80,4%. A vizenyős területek rendelkeznek alacsonyabb felhasználói pontossággal, mivel jelentős a túlbecslésük a belvizes és elöntött területek miatt. 1986-ban 64%, 2015-ben 79,2% volt ez az érték.

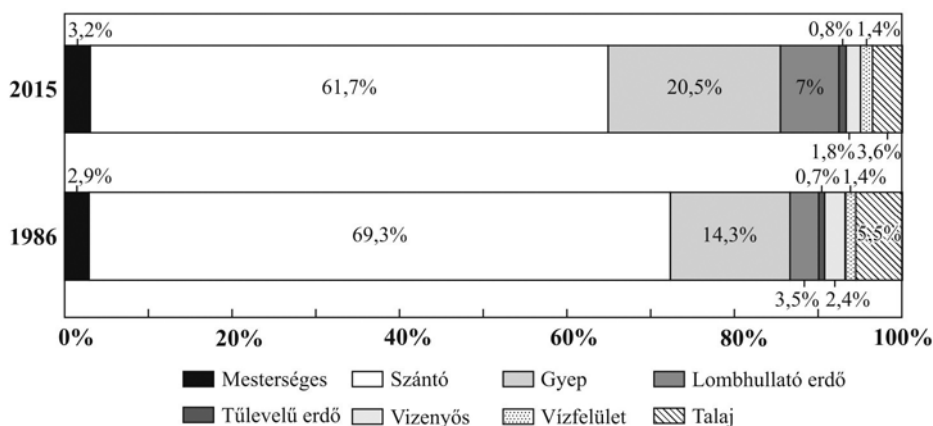
A felszínborítási típusok aránya 1986-ra és 2015-re

A különböző felszínborítási típusok aránya 1986 és 2015 között nagymértékben megváltozott Csongrád megyén belül (3. ábra). A tanulmányban kiemelten vizsgált mesterséges felszínek aránya 2,9%-ról 3,2%-ra nőtt. Bár százalékos értékében nem tűnik olyan nagymértékűnek, azonban a mesterséges felületek növekedésének hatása a legnagyobb

3. táblázat – Table 3

A 2015-ös felszínborítás térkép hibamátrixa 1-mesterséges felszín, 2-szántó, 3-gyep, 4-lombhullató erdő, 5-tülevelű erdő, 6-vizenyős, 7-vízfelületek
 Error matrix for the 2015 classification 1-artificial surfaces, 2-arable land, 3-grassland, 4-deciduous forest, 5-coniferous forest, 6-wetland, 7-water

Osztály/ Referencia	1	2	3	4	5	6	7	Osztály össze- sen	Felhasz- nálói pontosság
1	20	4	0	0	0	0	1	25	80,0%
2	1	108	0	0	0	0	1	110	98,2%
3	1	10	45	0	0	0	0	56	80,4%
4	0	0	0	29	1	0	1	31	93,5%
5	0	0	0	0	25	0	0	25	100,0%
6	0	2	1	0	0	19	2	24	79,2%
7	0	0	0	0	0	0	27	27	100,0%
Referencia összesen	22	124	46	29	26	19	32	298	
Előállítói pontosság	90,9%	87,1%	97,8%	100,0%	96,2%	100,0%	84,4%		91,6%



3. ábra A különböző felszínborítási típusok aránya 1986-ban és 2015-ben

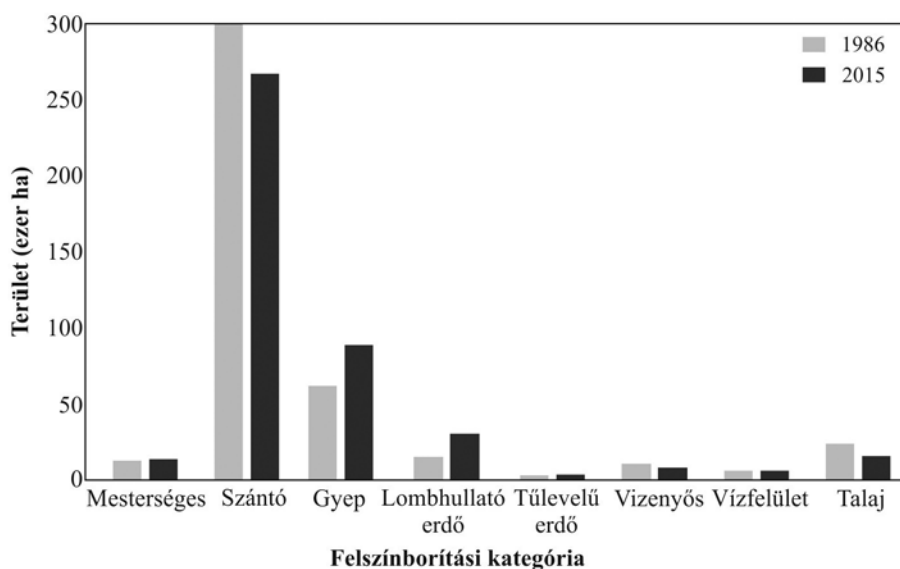
Figure 3 The proportion of land cover classes in 1986 and 2015

a környezetre, az autópályák megváltoztatják az ökológiai folyosók helyét, gátat képeznek az élőlények számára, közelükben fokozódik a lég- és talajszennyezés, az épületek pedig a lefolyási tényezőt, a talajtulajdonságokat változtatják meg. A szántóterületek adják a megye területének több mint kétharmadát (69,3% 1986-ban, 61,7% 2015-ben), ezek területe 7,6%-kal csökkent az eltelt időszakban. A gyepterületek 2015-ben már a megye egyötödét teszik ki 20,5%-kal, mivel 1986 óta a területük 6,2%-ot növekedett, ami a kevésbé intenzív művelés terjedését jelenti. A lombhullató erdők 2015-ben kétszer annyi területet, összesen 7%-ot tesznek ki, míg a vizenyős területek aránya 2,4%-ról 1,8%-ra csökkent.

A vízfelületek osztálya nem változott jelentősen, mindkét időpontban 1,4% volt a kiterjedésük a megyében. A nyílt talajfelszínnek területe csökkenőben van, 1986-ban 5,5%-ot, míg 2015-ben 3,6%-ot tettek ki.

A felszínborítási típusok változása 1986 és 2015 között

A felszínborítási térképek alapján elmondható, hogy az eltelt közel 30 évben a legtöbb kategóriában lényeges változások történtek (4. ábra). A fő kategóriák közül a vízfelületek és a tűlevelű erdők viszonylag állandóak. A vízfelületek összterülete 1986-ban 5830 ha, a 2015-ös képen pedig 5861 ha volt, mindössze 31 ha-ral növekedett, hiszen nagy területű vízrendezési munkálatok nem történtek a megyében. A tűlevelű erdők összterülete 3158 ha-ról 3607 ha-ra változott, vagyis összesen 448 ha-ral nőtt. A mesterséges felszínnek nyújtják a harmadik legnagyobb mértékű változást, mivel 1986-ban 12 677 ha területet foglaltak el, és 2015-re az összterületük elérte a 13 676 ha-t. Az eredményeink alapján az új beépítés összterülete Csongrád megyében 999 ha volt, amely tartalmazza az útépitéseket (pl. M43-as autópálya), és a települések (kiemelten Szeged) urbanizációját is.



4. ábra A különböző felszínborítási típusok összterülete 1986-ra és 2015-re
Figure 4 The total area of land cover types in 1986 and 2015

A vizenyős területek összterülete 10 397 ha-ról 7 836 ha-ra csökkent. Azonban érdemes figyelembe venni, hogy az 1986-os év belvizes volt, ezért az időszakos elöntések miatt nagyobb területek hibásan osztályozódtak ebbe a kategóriába. Ezeken a területeken az esőzések és a hóolvadás miatt a csapadék nem tudott a talajba szivárogni vagy a folyókba, csatornába jutni, ezért időszakosan a felszínen maradt nagyobb foltokban (VAN LEEUWEN et al. 2012). A talaj osztályban is csökkenés történt, 23 823 ha-ról 15 527 ha-ra csökkent az összterülete. Azonban a 8296 ha változásba az időszakosan (az adott évben) művelés alól kivont területek is beleszámítanak, és több esetben a szőlőterületek is hibásan ebbe a kategóriába osztályozódtak. A lombhullató erdők területe 14 943 ha-ról 20 191 ha-ra,

tehát több mint másfélszeresére nőtt, a megye nyugati részén történt nagyobb fokú erdősítésnek köszönhetően. A gyepek területe szintén növekedett, 61 780 ha-ról 88 841 ha-ra, összesen 27 061 ha-ral, vagyis körülbelül a terület egyharmadával nőtt. A szántók területe változott a legnagyobb mértékben, 299 842 ha-ról 266 911 ha-ra csökkent, ez 32 931 ha-os, vagyis 11%-os csökkenés. Ezek a változások leginkább a gyepek, a lombhullató erdők és a mesterséges területek növekedéséhez köthetők.

A mesterséges felszínnek változása 1986 és 2015 között

A mesterséges felszínnek változásának 3 tipikus megjelenési formáját mutatja az 5. ábra. Az 1972-ben készült Corona fekete-fehér műholdfelvételen az elemzéseink alapján kirajzolható új mesterséges felszínnek fedvényt helyeztünk el. Mellette a Google Earth valós színes részlet látható, amely a 2015-ös állapotot jeleníti meg nagyfelbontású űrfelvételen.

Az 5a. ábra Kiskundorozsma ÉK-i részéhez csatlakozó új beépített terület mutatja, amelyhez csatlakozik a Vásártéren 1993 óta működő Dorozsmai Nagybari Piac. A keres, családi házas beépítésű területen a település központjában található telkekhez képest kisebb telkeket jelöltek ki, így kevesebb terület maradt a nyílt talajfelszínnek.

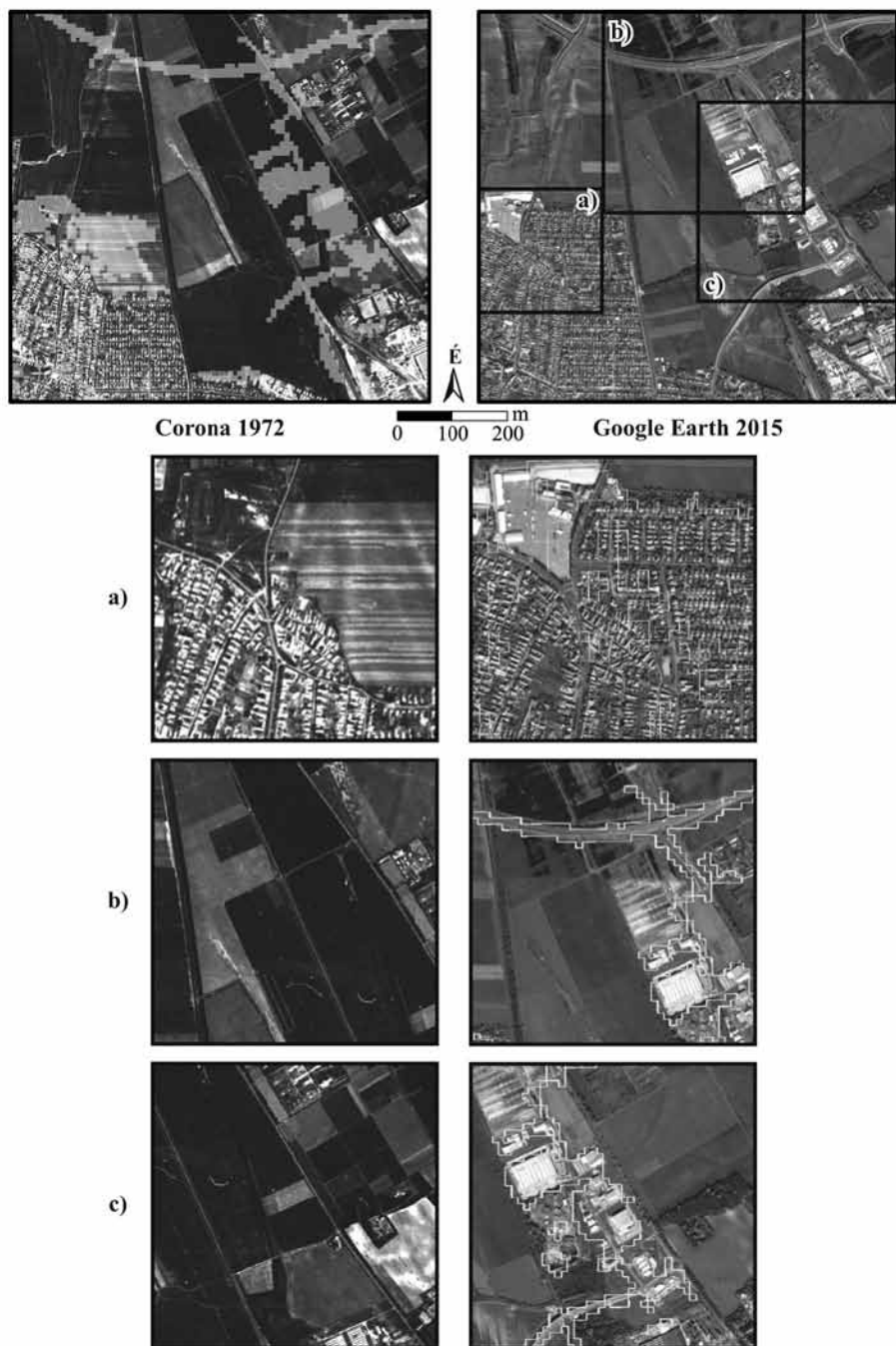
Az M5-ös autópálya Szegedtől nyugatra húzódik, és ehhez csatlakozik az M43-as autópálya, mely a román határig tart, és csatlakozik az A1-es autópályához (5b. ábra). Első szakaszát 2005-ben, a második 47-es főútig tartó szakaszát 2010-ben, a harmadik (Makóig tartó) szakaszát 2011-ben, míg a határig terjedő részét 2015-ben adták át. Az első és második szakasz átadása előtt jelentős problémát okozott a belvízelvezető csatornák átalakítása, ill. az átereszek hiánya. Az autópálya felszíni vizek elvezetését akadályozó hatásáról BARTA K. et al. (2011) számoltak be.

Az 5-ös főút szegedi bevezető szakasza korábban is fontos telepítő tényező volt. Ide települt több kereskedelmi egység (Cora, Metro, Praktiker), ipari létesítmények (Gumigyár – Contitech Rubber), valamint katonai objektum (Orosz laktanya). Az M43-as kiépülése után ipari park létesült zöldmező beruházásként, itt jött létre a CBA, a Szegedi Zöltség és Gyümölcs Nagybari Piac 14 ha-on, valamint a laktanya helyén az ELI (önálló telken). További építkezések várhatóak a területen, 2020-ig megépül mintegy 24 ha-os területen a Science Park is az ELI-ALPS mellett (5c. ábra).

Összefoglalás

Az eredményeink alapján megállapítható, hogy idősoros adatok segítségével lehetséges nagy kiterjedésű felszínborítás térképek előállítás. Térképünkön 8 felszínborítási kategóriát különítettünk el: mesterséges felszíneket, szántókat, gyepeket, talajokat, vízezős területeket, vízfelületeket, lombhullató és tűlevelű erdőket. A korábbi kutatásokhoz hasonlóan, igazoltuk, hogy az egy időpontot használó osztályozásokkal szemben, az idősoros elemzések segítségével csökkenthető a félreosztályozódás a mesterséges felszín és a talajok között. Az alkalmazott módszerekkel magas pontosság (90% feletti) érhető el nagyobb területek (pl. megyék, régiók) osztályozása esetén is.

A hosszú távú felszínborítás vizsgálatokban kulcsszerepet kapnak a 2008 óta ingyenesen elérhető, 44 éve folyamatosan adatokat szolgáltató Landsat program műholdképei. Kutatásunkhoz elegendő felvétel állt rendelkezésre az 1986 és a 2015-ös évekből is, így lehetőség adódott közel 30 éves változások vizsgálatára, a fontosabb trendek megállapítására. A két időpont között sikeresen kimutattuk a szuburbanizáció jelenségét, a telepü-



5. ábra Példák mesterséges felszín változásokra 1986 és 2015 között, a) kertes, családi házas beépítés, b) autópálya-építés, c) kereskedelmi, szolgáltató és ipari épületek építése
 Figure 5 Examples of changes to the artificial class between 1986 and 2015: family houses (a), highway construction (b) commercial and industrial area (c)

lések külterületének belterületbe vonását. Továbbá térképeztük az autópályák, autóutak megépülését (pl. M43-as autópálya) és a kereskedelmi, szolgáltató egységek (pl. szupermarketek) és ipari parkok megjelenését is.

A véletlen erdő osztályozási módszer képes volt a többféle forrású (különböző szenzorok) adatokat együtt kezelni. Eredményesen teljesített a felhős képek és az SLC-off hibával terhelt képek osztályozásában is, így a bizonyos időpontokban adathiányos területeken is megbízható becslést adott. Azonban a megye nyugati, homokosabb területein és a szőlő ültetvényeken keveredés mutatkozott a mesterséges felszínekkel, valamint további problémákat okozott a több felszínborítási típust egyidejűleg tartalmazó, kevert pixelek osztályozása is.

A több spektrális sávval és nagyobb geometriai felbontással rendelkező Sentinel-2 műholdak jövőbeli felhasználása tovább javíthatja az osztályozási eredményeket. Azonban ezek a felvételek a 2015 előtti időszakra nem állnak rendelkezésre, így hosszú távú vizsgálatokra önmagukban nem elegendők. További jövőbeli cél lehet a térkép pontosítása és a felhasznált adatok tesztelése (pl. alkalmazott felvételek száma). Az idősor kiegészíthető köztes időpontokkal (pl. 2000-es évek eleje), amelyek segítségével nemcsak a két időpont közötti változások, hanem a változások dinamikája, sebessége is meghatározható a területen.

LISKA CSILLA MARIANN

SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged
csliska@geo.u-szeged.hu

MUCSI LÁSZLÓ

SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged
mucsi@geo.u-szeged.hu

HENITS LÁSZLÓ

SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged
henits@geo.u-szeged.hu

IRODALOM

- BARTA K. – SZATMÁRI J. – POSTA Á. 2011: A belvízképződés és az autópályák kapcsolata. - Földrajzi Közlemények 2011. 135. 4. pp. 379–387
- BATA T. – MEZŐSI G. 2013: Assessing Landscape Sensitivity Based on Fragmentation Caused by the Artificial Barriers in Hungary. – Journal of Environmental Geography 6. 1-2. pp. 37–47.
- BELGIU, M. – DRAGUT, L. 2016: Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 114. pp. 24–31.
- BREIMAN, L. 2001: Random forest-Machine Learning 45. pp. 5–32.
- BÜTTNER G. – FERANEC, J. – JAFFRAIN, G. – MARI L. – MAUCHA, G. – SOUKUP, T. 2000: The CORINE landcover 2000 project. – EARSeL Proceedings, 3. 3. pp. 331–346.
- CONGALTON, R.G. 1991: A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. – Remote Sensing of Environment 37. 1. pp. 35–46.
- Csongrád megye területfejlesztési koncepciója, 2012
- GISLASON, P.O. – BENEDIKTSSON, J. A. – SVEINSSON, J. R. 2006: Random forests for landcover classification. – Pattern Recognition Letters 27. 4. pp. 294–300.
- JENSEN, J.R. 2005: Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Toronto: Prentice Hall, 544 p.
- HENITS L. – JÜRGENS, C. – MUCSI L. 2016: Seasonal Multitemporal Land-Cover Classification and Change Detection Analysis of Bochum, Germany, Using Multitemporal Landsat TM Data. – International Journal of Remote Sensing 37. 15. pp. 3439–3454.

- JIANG, L.–WANG, W.–YANG, X.–XIE, N.–CHENG, Y. 2010: Classification Methods of Remote Sensing Image Based on Decision Tree Technologies – In: LI, D.–LIU, Y.–CHEN, Y. (ed.): Computer and Computing Technologies in Agriculture IV, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 353–358.
- KAUTH, R.J.–THOMAS, G.S. 1976: Tasseled Cap-graph description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. – In Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, IN, pp. 4b41–4b51.
- KSH, 2011. évi népszámlálás 3. Országos adatok
- KSH, 2013. Csongrád megye számokban
- MARI L.–MATTYÁNYI Zs. 2002: Egységes európai felszínborítási adatbázis a CORINE LandCover program. – Földrajzi Közlemények 126. 50. 1-4. pp. 31–38.
- MEZŐSI G.–FEJES Cs. 2004: A tájak ökológiai feltételeinek kvantitatív elemzése – A magyar földrajz kurrens eredményei. A II. Magyar Földrajzi Konferencia 2004. CD kötete, Szeged, pp. 1–12.
- MUCSI L.–KOVÁCS F.–HENITS L.–TOBAK Z.–VAN LEEUWEN B.–SZATMÁRI J.–MÉSZÁROS M. 2007: Városi terület-használat és felszínborítás vizsgálata távérzékeléses módszerekkel. – In: MEZŐSI G. (szerk.): Városökológia, Földrajzi Tanulmányok 1. pp. 43–65.
- SCHNEIDER, A. 2012: Monitoring Land Cover Change in Urban and Peri-Urban areas Using Dense Time Stacks of Landsat Satellite Data and a Data Mining Approach. – Remote Sensing of Environment 124. pp. 689–704.
- SMALL, C. 2001: Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis. – International Journal of Remote Sensing 22. pp. 1305–1334.
- STRAHLER, A.H.–WOODCOCK, C.E.–SMITH, J.A. 1986: On the nature of models in remote sensing. – Remote Sensing of Environment 70. pp. 121–139.
- SMALL, C. 2003: High resolution spectral mixture analysis of urban reflectance. – Remote Sensing of Environment, 88. pp. 170–186.
- UN 2014: World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (ST/ESA/SER.A/352).
- VAN LEEUWEN B.–MEZŐSI G.–TOBAK Z.–SZATMÁRI J.–BARTA K. 2012: Identification of inland excess water floodings using an artificial neural network. – Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences 7. 4. pp. 173–180.
- WU, C. 2004: Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM + imagery. – Remote Sensing of Environment 93. pp. 480–492.
- YUAN, F.–SAWAYA, K. E.–LOEFFELHOLZ, B. C.–BAUER, M. E. 2005: Landcover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. – Remote Sensing of Environment 98. pp. 317–328.
- ZHANG, L.–WENG, Q. 2016: Annual dynamics of impervious surface in the Pearl River Delta, China, from 1988 to 2013, using time series Landsat imagery. – ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing 113. pp. 86–96.
- ZHU, Z.–WOODCOCK, C. E. 2014: Continuous change detection and classification of landcover using all available Landsat data. – Remote Sensing of Environment 144. pp. 152–171.
- ZHU, Z.–WOODCOCK, C. E. 2012: Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. – Remote Sensing of Environment 118. 15. pp. 83–94.